Aus der medicinischen Universitätspoliklinik in Halle a. S.
(Director: Prof. Dr. Mohr.)

Das Verhalten der Blutcirculation und des Stoffwechsels beim gesunden Menschen

unter dem Einfluss verschieden temperirter Bäder.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

in der

Medicin und Chirurgie

welche mit Genehmigung der

hohen medicinischen Facultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.

öffentlich vortragen wird

Fritz Schapals,
approb. Arzt
aus Kaukehmen.

Berlin 1912.
Druck von L. Schumacher, N. 4.

Gedruckt mit Genehmigung der medicinischen Facultät der Universität Halle.

Referent: Prof. Dr. Mohr.
z. Z. Dekan: E. von Hippel.

Sonder-Abdruck aus der Zeitschrift f. exp. Pathologie u. Therapie. 10. Band.

Das alte und wichtige Problem der Kreislaufwirkung kalter und warmer Bäder ist in der letzten Zeit mit neuen Methoden von mehreren Seiten einer Neubearbeitung unterzogen worden. Mit Hülfe der Blutdruckmessung, der Plethysmographie und der Tachographie in verschieden combinirter Anwendung, ist das Verhalten des peripheren Kreislaufs zweifellos aufgehellt worden, und auch für den Menschen das Dastre-Morat'sche Gesetz von der antagonistischen Reaction der Gefässe der Haut und der inneren Organe bewiesen worden [O. Müller (1)]. Dagegen besteht keineswegs Sicherheit in der Frage nach dem Verhalten des centralen Motors der Circulation, des Herzens. Während O. Müller aus der Analyse der von ihm am gesunden Menschen aufgenommenen Tachogramme schliesst, dass im heissen Bad das Schlagvolumen des Herzens vergrössert, im kalten Bad verkleinert sei, findet F. Kraus mit Hülfe der von Plesch (2) zur Bestimmung des Schlagvolumens angegebenen Methode das umgekehrte Verhalten, und auch Bornstein (3) berichtet über Versuche mit seiner eigenen Methode, die die Resultate von Kraus bestätigen. O. Müller schreibt es der fehlerhaften Plesch'schen Methode zu, dass Kraus zu entgegengesetzten Resultaten gekommen ist, ohne allerdings zu beweisen, dass das von ihm angewandte Verfahren sichere Rückschlüsse auf das Verhalten des Herzens gestattet. Vielmehr ist nach den neuesten Ausführungen von v. Kries (4) selbst und von Christen (5) sicher, dass das Tachogramm keine Rückschlüsse auf das Puls- oder Schlagvolumen des Herzens gestattet. Wenn ausserdem Otfried Müller aus der Steigerung des Blutdrucks trotz der enormen Gefässerweiterung nicht nur auf ein schnelleres, sondern auch auf ein ausgiebigeres Schöpfen des Herzens schliesst, so ist darauf zu erwidern, dass durch das Sinken des Tonus der Hautgefässe der Widerstand der Gefässbahn, der mit der Herzenergie zusammen den Blutdruck bedingt, durchaus nicht im allgemeinen verringert zu sein braucht. Durch die Darmplethysmographie hat Müller selbst die Richtigkeit des Satzes vom Antagonismus der Gefässe der äusseren Haut und der inneren Organe erbracht. Je mehr sich die Gefässe der äusseren Haut erweitern, desto stärker contrahiren sich

die der inneren Organe, namentlich die vom Splanchnicus versorgten Gefässgebiete. Durch diese Regulationsvorrichtungen braucht der Widerstand in der Gefässbahn nicht nur nicht geringer zu werden, sondern kann sogar gesteigert sein, was um so mehr der Fall sein wird, je heisser das Bad ist und je mehr sich die Hautgefässe erweitert haben. Die enorme Gefässerweiterung in der Peripherie bewirkt bei anfänglicher Beschleunigung eine Verlangsamung des Blutstromes. Unter diesen Umständen wird in der Zeiteinheit nicht so viel Blut zum Herzen zurückströmen wie es unter normalen Verhältnissen der Fall ist. Das Herz wirft diejenige Blutmenge aus, die es erhalten kann, und um überhaupt die Circulation aufrecht erhalten zu können, muss die Schlagfolge beschleunigt werden. Schliesslich hat auch diese Compensationsvorrichtung ihre Grenze; dauert das Bad zu lange, so wird der Tonus der inneren Gefässe ebenfalls sinken, und ein Collaps ist unvermeidlich.

Auch das Verhalten des Herzens im Röntgenbild nach einem kalten oder heissen Bade, auf welches wir noch später zurückkommen werden, ist für uns eine wichtige Stütze dafür, dass die Anschauungen O. Müller's über das Schlagvolumen nicht richtig sein können. Insofern ist der Einwand Müller's gegen Versuchsresultate, die mit Plesch'scher Methode gewonnen sind, nicht zutreffend; allerdings sind bei diesem Verfahren ebenfalls nicht geringe Fehlerquellen vorhanden, auf die wir noch eingehen werden, nachdem wir die Methode kurz geschildert haben.

Die Methode von Plesch zur Bestimmung des Minuten- resp. Schlagvolumens folgt einem Gedankengang von Quinquaud und Gréhant, der darauf beruht, aus dem Gasgehalte des Blutes vom rechten und linken Herzen und dem Minuten-Sauerstoffverbrauch das Minuten- und bei bekannter Pulszahl das Schlagvolumen zu berechnen. Bei Thieren wurde dieses Prinzip von Zuntz und Hagemann verwerthet. Loewy und v. Schrötter (6) übertrugen es auf den Menschen. Da aber beim Menschen bis dahin eine unblutige Methode zur Bestimmung des Gasgehaltes des venösen Blutes nicht bekannt war, versuchten die genannten Autoren aus den alveolären Gasspannungen den Gasgehalt des venösen Blutes zu berechnen. Durch einen Tamponkatheter wurde ein Theil der Lunge abgesperrt; die im abgesperrten Theil befindliche Luft wurde mittels einer Spritze aspirirt und dann analysirt. Da das Einlegen eines Tamponkatheters ziemlich unnatürliche Verhältnisse schafft, und bei vielen Patienten schwer, bei manchen überhaupt nicht möglich ist, war es ein Fortschritt, als Plesch die Doppelsackeinrichtung zur Bestimmung der alveolären Spannung des Venenblutes und damit des Gasgehaltes selbst angab. Er ging von dem Gedanken aus, dass, wenn es möglich wäre, die alveoläre Sauerstoff- und Kohlensäurespannung oder anders ausgedrückt, die Spannung derjenigen Luft, welche mit den Gasen des rechten Herzens Gleichgewicht hält, zu bestimmen, mit grosser Genauigkeit auf den Gasgehalt des venösen Blutes geschlossen werden könnte. Die von ihm construirte Doppelsackeinrichtung wurde durch ein Mundstück mit dem Respirationstractus verbunden, sodass sie mit demselben ein geschlossenes System bildet. Die Respirationsbewegungen der Ver-

suchsperson dienen dann lediglich dazu, dass sich das Gasgemenge des Sackes mit den Gasen des Blutes ins Gleichgewicht setzt. Zur Bestimmung der Totalsauerstoffcapacität des Blutes (= O_2-Gehalt des arteriellen Blutes) gab er seinen Kolbenkeilhämoglobinometer an, der ein schnelles und hinreichend exactes Arbeiten ermöglicht. (Einzelheiten über den Gebrauch der genannten Apparate müssen im Original nachgelesen werden.) Wird der Minutensauerstoffverbrauch nach Zuntz und Geppert bestimmt, so hat man die zur Berechnung des Minutenvolumens notwendigen Zahlen. Plesch fand bei den 4 von ihm untersuchten gesunden Menschen im Mittel ein Minutenvolumen von 4359 ccm, das Schlagvolumen betrug im Durchschnitt 58,74 ccm.

Die Plesch'sche Methode ist von verschiedenen Seiten eingehend kritisirt worden. Zunächst werden die Bedenken erwähnt, welche gegen die Blutgasmethode überhaupt von Bohr und Henriques erhoben worden sind. Die Einwände von Bohr (7) und Henriques gründen sich auf die Anschauung, dass die Lunge nicht passiv beim Gaswechsel betheiligt sei, sondern selbst ein Ort lebhafter Oxydationen sei und speciell für die Verbrennung des Kohlenstoffs grosse Bedeutung habe. Demnach sei es nicht angängig, aus der producirten CO_2-Menge auf das Blutvolumen zu schliessen, das in einer bestimmten Zeit vom Herzen durch die Lunge getrieben würde, da ein Theil der CO_2 in der Lunge selbst entstehen würde. Ein zwingender Beweis für diese Auffassung Bohr's ist bisher nicht erbracht worden; Zuntz und seine Mitarbeiter, ferner Plesch haben im Gegentheil wichtige Bedenken gegen sie vorgebracht. Dass der auf der Bohr'schen Theorie ruhende Einwand gegen die Plesch'sche Bestimmungsmethode zum mindesten für Versuche bei körperlicher Ruhe nicht zutreffend ist, wird auch von Pütter (8), der im übrigen auf Seite von Bohr steht, auf Grund rechnerischer Ueberlegungen zugegeben. Die Methode von Plesch hat aber noch andere bedenkliche Seiten. Zuntz (9) erinnert daran, dass die Dissociationscurve des Sauerstoffhämoglobins, auf welche sich ja die Berechnung des Gasgehaltes im arteriellen und venösen Blute stützt, keinen für alle Menschen constanten Verlauf hat. Versuche von Barcroft und seinen Mitarbeitern haben gezeigt, dass namentlich alle Zustände von Dyspnoe den Verlauf der Curve erheblich modificiren, wahrscheinlich dadurch, dass die Dyspnoe zur Entstehung von organischen Säuren im Blute Anlass giebt. Ebenso hat jede Aenderung des CO_2-Gehaltes des Blutes, wie sie schon durch die forcirte Athmung zu Stande kommt, einen erheblichen Einfluss auf die Dissociationscurve des Oxyhämoglobins.

Zu diesen Einwänden principieller Art gesellen sich noch gewisse technische. Es ist nämlich von wesentlicher Bedeutung, ob die Patienten an die Ventilathmung gewöhnt sind oder nicht. Ferner lässt sich bei der Sackathmung schwer eine Aenderung des Athemtypus vermeiden, welcher den O_2-Gehalt des Venenblutes nicht unbedeutend beeinflusst. Sollen die Resultate brauchbar sein, so muss die Versuchsperson an die ganze Handhabung einigermaassen gewöhnt sein. Unter Beachtung dieser Thatsachen darf man wohl von der Plesch'schen Methode beim Gesunden

richtige Resultate erwarten. In wie weit die Methode unter pathologischen Verhältnissen anwendbar ist, kann zur Zeit noch nicht entschieden werden, da wir mit Sicherheit noch nicht wissen, wie sich die Bedingungen der Gasaufnahme und der Gasabgabe dabei gestalten. Immerhin spricht für die Brauchbarkeit der Methode der Umstand, dass die von Plesch bei Anämien und Herzfehlern gewonnenen Resultate mit denen von Mohr (10), der nach einem ganz anderen Verfahren am Thier arbeitete, im wesentlichen übereinstimmen.

Im Folgenden haben wir uns deshalb ebenfalls der Plesch'schen Methode zur Feststellung des Einflusses indifferenter und differenter Wasserbäder auf die Circulation bedient, wobei uns auch folgende Ueberlegungen geleitet haben. Bei diesem Verfahren haben wir es mit quantitativen Verhältnissen zu thun. Ob die gewonnenen Zahlen uns zu kleine oder zu grosse Werthe angeben, spielt vor der Hand keine allzu grosse Rolle. Gelingt es, im Normalversuch eine gewisse Constanz der Zahlen für das Minuten- und Schlagvolumen zu erreichen, dann muss auch der thermische Factor als stets sich gleich bleibende Grösse in den Zahlen irgend wie zum Ausdruck kommen. Dies kann natürlich nur dann der Fall sein, wenn sich der thermische Factor stärker als alle Fehlerquellen der Methode erweist. Die Versuche wurden zum Theil an mir, zum Theil an einem poliklinischen Patienten gemacht, dem ausser etwas Muskelrheumatismus nichts weiter fehlte, für unsere Zwecke aber insofern geeignet war, als mit ihm schon früher Respirationsversuche angestellt waren. Was Uebung und Gewöhnung bei unserem Verfahren ausmachen, werden wir bei Besprechung der gewonnenen Zahlen deutlich sehen.

Die Versuche gestalteten sich folgendermaassen: Zuerst wurde ein Respirationsversuch gemacht, dann der Puls gezählt, darauf erfolgte die Sackathmung. Zuletzt wurden dem Versuchsindividuum Blut aus dem Finger entnommen und die Totalsauerstoffcapacität mit dem Kolbenkeilhämoglobinometer bestimmt. Gewöhnlich wurde gleich nach Beendigung des Versuches sowohl Exspirationsluft als auch Sackluft in einem von Zuntz-Geppert angegebenen und von Plesch vereinfachten Analysenapparat analysirt. Die Ausrechnung eines solchen Versuches möge an folgendem Beispiel erläutert werden.

Sch. Normalversuch, 69 kg. Die Dauer des Versuches betrug 10 Minuten. In dieser Zeit wurden laut Gasuhr 66,55 Liter geathmet. Auf die Minute berechnet giebt es 5,512 Liter. Der Stand des Thermobarometers war 109,7. Wir reduciren das abgelesene Minutenvolumen auf 0 Grad und 760 mm Hg.

$$100 : 109{,}7 = x : 5{,}512\ l;\ x = \frac{100 \cdot 5{,}512}{109{,}7} = 5{,}019\ l$$

Die Athmungsfrequenz war 12 in der Minute, die Athemtiefe betrug demnach 5,029 : 12 = 459,3.

In der Exspirationsluft war enthalten

$$CO_2 = 3{,}64\,\text{pCt.}$$
$$O_2 = 16{,}06\,\text{pCt.}$$

Es wurden also pro Minute producirt:

$$CO_2 = \frac{5{,}029 \cdot 3{,}64}{100} = 183{,}0\ \text{ccm.}$$

Es wurden pro Minute verbraucht, den Gehalt der Aussenluft an O_2 zu 20,922 pCt. angenommen:

$$O_2 = \frac{5{,}029 \cdot 4{,}82}{100} = 244{,}5 \text{ ccm.}$$

Der respiratorische Quotient war 0,748.

Um den Gasgehalt des arteriellen und venösen Blutes zu erfahren, müssen wir die alveolären Spannungen berechnen. In Betracht kommen hierbei die Athemtiefe, der schädliche Raum, dessen Grösse nach den Messungen von Loewy 140 ccm beträgt, die Zusammensetzung der Exspirationsluft, der Barometerstand, die Wasserdampftension bei Körpertemperatur von 37 Grad und gemessenem Barometerdruck.

Bei unserem Versuch berechnet sich die alveoläre Spannung für O_2 folgendermaassen:

Die Athemtiefe ist 459,3, der procentige Gehalt an O_2 der Exspirationsluft 16,06, so ist in der Ausathmungsluft $\frac{459{,}3 \cdot 16{,}06}{100} = 73{,}765$ ccm O_2 vorhanden.

Davon gehen $\frac{140 \cdot 20.922}{100} = 29{,}3$ ccm für den Sauerstoff im schädlichen Raume ab.

Es sind somit 459,3 — 140 = 319,3 ccm Luft in die Lunge gekommen, in welcher 73,765 — 29,3 = 44,465 ccm = 13,926 pCt. Sauerstoff enthalten ist. Der Stand des Barometers zu 760 mm Hg angenommen, so entspricht diesem Druck bei 37° Körpertemperatur 49 mm Wasserdampfspannung. Es herrscht in den Lungen der Druck von 711 mm Hg, in welchem die Sauerstoffspannung $\frac{13{,}926 \cdot 711}{100} = 99{,}0$ mm Hg beträgt.

Ebenso berechnen wir die Kohlensäurespannung, sie beträgt in unserem Falle 27,98 mm Hg. Wir lesen nun von der Dissociationscurve von Bohr, Hasselbalch und Krogh die procentige O_2 Sättigung des Hämoglobins ab und finden, dass bei unserem Versuch das Hämoglobin zu 98 pCt. mit Sauerstoff gesättigt ist. Da die mit dem Kolbenkeilhämoglobinometer bestimmte Sauerstoffcapacität bei uns 19,4 Volumenprocent betrug, so waren im arteriellen Blute $\frac{98 \cdot 19{,}4}{100} = 19{,}012$ Volumenprocent O_2 vorhanden. Damit hätten wir den Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes berechnet. Die Spannung der Gase im Venenblute war laut Analyse der Sackluft

für CO_2 = 4,59 pCt. = 31,89 mm Hg
„ O_2 = 5,43 „ = 38,08 „ „

Nach der Dissociationscurve war das Hämoglobin des Venenblutes zu 69 pCt. mit Sauerstoff gesättigt.

Es enthielt an $O_2 = \frac{69 \cdot 19{,}4}{100} = 13{,}386$ Volumenprocent. Durch die Respiration wurden ersetzt 19,012 — 13,386 = 5,626 Volumenprocent. Da in der Minute 244,5 ccm O_2 verbraucht waren, betrug das Minutenvolumen $\frac{244{,}5 \cdot 100}{5{,}626} = 4336{,}0$ ccm.

Die Pulszahl war in der Minute 82, das Schlagvolumen demnach 4336,0 : 82 = 52,87 ccm.

Die Badversuche wurden in genau eben derselben Weise durchgeführt, nur dass der Respirationsversuch, die Zählung des Pulses und die Sackathmung im Bade geschah.

Tabelle I.

Normalversuche.

Datum	Minutenvolumen in ccm	Minutenvolumen pro kg Körpergewicht	Herzschlagvolumen in ccm	Herzschlagvolumen pro kg Körpergewicht	Absoluter O_2-Verlust	Puls	Versuchsperson
1. 8.	3645,6	66,28	47,96	0,872	6,080	76	Th., 55 kg, Totalsauerstoffcapacität 18,8 Volumenprocent.
14. 8.	3180,9	57,84	44,17	0,803	5,994	72	
16. 8.	3361,7	61,12	46,68	0,844	6,648	72	
17. 8.	3789,0	68,89	52,62	0,956	4,768	72	
19. 8.	4714,0	85,70	70,35	1,279	4,580	67	
23. 8.	5888,3	107,06	77,47	1,408	5,332	76	
19. 9.	4863,0	88,41	79,72	1,249	4,171	61	
19. 9.	4955,0	90,09	81,24	1,477	4,171	61	
19. 9.	5063,0	91,05	80,36	1,461	4,171	63	
20. 9.	5505,5	100,10	76,45	1,390	3,740	72	
21. 9.	4526,0	82,29	65,59	1,192	4,956	69	
22. 9.	5569,0	101,25	84,38	1,543	4,016	66	
26. 9.	4564,3	82,98	64,28	1,170	4,580	71	
27. 9.	4405,0	81,09	66,47	1,213	4,768	66	
28. 9.	5365,3	97,77	74,51	1,354	4,204	72	
30. 9.	4490,3	81,64	56,14	1,020	4,392	80	
2. 10.	4300,4	78,18	61,45	1,116	4,580	70	
3. 10.	3367,2	61,21	42,62	0,774	5,530	79	
Mittel	4530,75	76,83	65,13	1,174	4,817	75,5	
5. 10.	6119,6	88,69	77,64	1,125	4,268	78	Sch., 69 kg, Totalsauerstoffcapacität 19,4 Volumenprocent.
6. 10.	5290,0	80,16	66,96	0,970	5,703	79	
9. 10.	4336,0	62,84	52,87	0,766	5,620	82	
10. 10.	5913,6	85,70	73,92	1,071	4,646	80	
11. 10.	4382,6	63,51	56,18	0,814	4,850	78	
12. 10.	3994,0	52,09	43,82	0,635	7,760	82	
14. 10.	5110,0	74,06	61,57	0,892	5,432	83	
27. 10.	5087,7	73,73	65,22	0,945	5,630	78	
27. 10.	4867,7	70,53	64,04	0,928	5,820	76	
3. 11.	4523,9	65,56	51,40	0,744	7,178	88	
31. 11.	5718,9	82,75	69,74	1,011	4,850	82	
Mittel	4994,93	72,69	62,11	0,900	5,618	80,6	

NB. Beide Versuchspersonen lagen leicht bekleidet auf einer Decke in der Badewanne in bequemer Rückenlage. Die Temperatur des Badezimmers betrug durchschnittlich 20°.

Sehen wir die Durchschnittszahlen bei der Versuchsreihe an, so finden wir Werthe, die mit denen von Plesch nahezu übereinstimmen. Er fand bei den von ihm untersuchten Fällen im Mittel ein Minutenvolumen von 4359,0, ein Schlagvolumen von 58,74 ccm. Bei Betrachtung der einzelnen Werthe bemerken wir jedoch erhebliche Schwankungen. Bei Th. ist das niedrigste Minutenvolumen 3180,9 ccm, das höchste 5888,3 ccm, der höchste Werth für Schlagvolumen beträgt 84,38 ccm, der niedrigste 42,62 ccm. Das sind Differenzen von 80—100 pCt. Angesichts solch grosser Differenzen bei den einzelnen, scheinbar unter gleichen Bedingungen gewonnenen Resultaten, treten natürlich wieder Be-

denken gegen die Verwendbarkeit der Methodik auf. Es lässt sich aber zeigen, dass diese Unterschiede nicht der Methodik zur Last fallen. Zunächst wissen wir durch die glänzenden Untersuchungen der Ludwig'schen Schule, dass das Schlagvolumen des Herzens keine constante Grösse ist, sondern sich den jeweiligen Bedürfnissen anpasst. Für den Ausfall unserer Resultate fällt der Umstand schwer ins Gewicht, dass äussere Gründe es nicht ermöglichten, die Versuchsobjecte unter ständig gleichen Bedingungen zu halten. Welchen Einfluss aber ein nüchterner oder gesättigter Zustand auf die Blutcirculation hat, ist jedermann bekannt. Auch die Art der Beschäftigung vor Beginn des Versuches ist keineswegs ohne Bedeutung. Wäre es uns möglich gewesen, die Versuche mit klinischen Patienten zu machen, bei denen wir Nahrungsaufnahme u. s. w. hätten regulieren können, dann wären die Versuche wahrscheinlich einheitlicher geworden.

Um jedoch Sicherheit in dieser principiell wichtigen Frage zu erlangen, machten wir an einem Tage mehrere Normalversuche nacheinander, um zu sehen, ob sich dann eine gewisse Constanz der Zahlen erreichen liess. Unsere Erwartungen wurden nicht getäuscht. Die drei nacheinander beim Patienten Th. ausgeführten Versuche ergaben für das Minutenvolumen 5053,0, 4863,0 und 4955,0 ccm, für das Herz-Schlagvolumen 80,36, 79,72 und 81,24 ccm. Eine bessere Uebereinstimmung dürfen wir hier kaum erwarten. Der erste Werth ist naturgemäss der höchste, da die ungewohnte Ventilathmung ein verstärktes Athmen bedingt.

Der absolute Sauerstoffverbrauch war in allen 3 Versuchen gleich, nämlich für 100 ccm Blut gleich 4,171 Volumenprocent oder 23 pCt., da das arterielle Blut zu 98 pCt., das venöse Blut laut Analyse der Sackluft zu 75 pCt. mit O_2 gesättigt war.

Zwei an mir selbst hintereinander angestellte Versuche ergaben ein Minutenvolumen von 5087,7 und 4867,7 ccm, ein Schlagvolumen von 65,22 und 64,04 ccm. Auch hier sehen wir eine gute Uebereinstimmung der Werthe. Der absolute O_2-Verbrauch für 100 ccm Blut betrug 5,63 und 5,82 Volumenprocent oder 29 resp. 30 pCt.

Aus diesen Versuchen geht unzweideutig hervor, dass die grossen Differenzen in der Circulationsgrösse an verschiedenen Tagen bei derselben Versuchsperson nicht durch die Methode, sondern durch verschiedene physiologische Bedingungen erzeugt sind, dass somit immer nur Resultate mit einander in Beziehung gebracht werden können, die am gleichen Tage unter denselben Bedingungen nacheinander erzielt worden sind. Für unsere Zwecke bedeutet dies, dass wir, um Vergleichswerthe zu erhalten, jedem Badversuch einen Normalversuch vorausschicken mussten.

Einer kurzen Würdigung bedürfen noch die Daten, die die Höhe des Minutenvolumens bedingen: Der Minutensauerstoffverbrauch und der O_2-Verlust pro 100 ccm Blut. Bei dem Patienten Th. finden wir einen Verbrauch von 208,5 ccm O_2 pro Minute im Durchschnitt; auf das Kilogramm Körpergewicht berechnet 3,799 ccm, eine Zahl, die durchaus normal ist. Der höchste Werth war 225 ccm pro Minute; auf das Kilogramm Körper-

gewicht berechnet 4,1 ccm, der niedrigste 180,66, resp. 3,28 ccm. Auch diese Zahlen bewegen sich in den Grenzen des Normalen. Die an mir angestellten Versuche ergaben im Mittel einen O_2-Verbrauch von 274,66 ccm, auf das Kilogramm Körpergewicht berechnet 3,89 ccm, der höchste Werth war 324,7 resp. 4,7 ccm, der niedrigste 212,56 resp. 3,08 ccm. Die Zahl 4,7 ccm pro Kilogramm Körpergewicht ist etwas hoch, sie findet ihre Erklärung darin, dass der Versuch gleich nach dem Mittagessen gemacht wurde. Was den absoluten O_2-Verlust pro 100 ccm anbetrifft, so war er bei dem Patienten Th. im Durchschnitt 4,817 Volumenprocent, den höchsten absoluten O_2-Verlust zeigt der Versuch vom 16. 8. mit 6,658 Volumenprocent, den niedrigsten zeigt der Versuch vom 20. 9. mit 3,74 Volumenprocent; die beiden Werthe differiren beinahe um 100 pCt. Auch die zweite Serie von Versuchen zeigt eine erhebliche Differenz in der O_2-Ausnutzung: der höchste Werth ist 7,76 Volumenprocent, der geringste 4,268 Volumenprocent, die Durchschnittszahl ist 5,618. Wie sollen wir uns diese Erscheinung erklären? Wir haben schon bei Besprechung der Methode betont, dass der schwächste Punkt der Methode eben in der Feststellung des O_2-Gehaltes des Venenblutes gelegen ist; manches zu hohe Minutenvolumen mag durch die nicht einwandfreie Sackathmung bedingt sein. Allerdings wissen wir aber auch, dass die Ausnutzung des Sauerstoffs überhaupt nichts Constantes ist, sie hängt von Verhältnissen ab, die wir oft garnicht durchschauen können. Schwankungen in der Sauerstoffausnutzung sind von allen Autoren gefunden worden, die sich mit dieser Frage beschäftigt haben. Plesch fand im Mittel eine Sauerstoffabgabe von 5,77 Volumenprocent; seine Werthe schwankten zwischen 7,4 und 4,26 Volumenprocent. Loewy und von Schrötter fanden im Minimum 3,11 und im Maximum 5,15 Volumenprocent. Morawitz und Röhmer stellten bei wiederholter Sauerstoffbestimmung des Venenblutes einer und derseben Versuchsperson Schwankungen zwischen 25,6 und 46,0 pCt. fest.

Zur Erklärung für das wechselnde Verhalten des Körpers in der Sauerstoffausnutzung müssen wir berücksichtigen, dass die Regulation der Sauerstoffzufuhr zu den thätigen Organen in verschiedener Weise möglich ist und dass durchaus nicht immer auch beim gleichen Individuum der gleiche Mechanismus dabei thätig ist. Es stehen sicher 3 Möglichkeiten dem Körper zur Verfügung, um den erhöhten O_2-Bedarf zu decken: 1. Erhöhung des Minuten-, 2. Erhöhung des Schlagvolumens, 3. stärkere Ausnutzung des O_2. Ebenso wie unter normalen lassen sich unter pathologischen Bedingungen diese verschiedenen Regulationsmechanismen feststellen, z. B. bei der Anämie [Mohr (11), Morawitz und Röhmer (12), Plesch (2)].

Nachdem wir so die Grundlagen geprüft haben, können wir sehen, welchen Einfluss verschieden temperirte Bäder auf das Minuten- resp. Schlagvolumen ausüben.

Betrachten wir die Zahlen in der nachstehenden Tabelle, so finden wir, dass im Mittel das Minutenvolumen im indifferenten Bade 3908,9 ccm, das Schlagvolumen 62,16 ccm beträgt; die den Badversuchen voraufgegangenen Normalversuche ergeben im Durchschnitt ein Volumen von 4295,27, ein Schlagvolumen von 58,40 ccm; die Differenz ist etwas über

Tabelle II.

Indifferentes Bad.

Versuchsperson Th., 55 kg. Totalsauerstoffcapacität = 18,8 Volumenprocent.

Datum	Badeversuch						Normalversuch					
	Minutenvolumen		Schlagvol.		Absoluter O_2-Verlust	Puls	Minutenvolumen		Schlagvol.		Absoluter O_2-Verlust	Puls
	in ccm	pro kg Körpergew.	in ccm	pro kg Körpergew.			in ccm	pro kg Körpergew.	in ccm	pro kg Körpergew.		
11. 8.	3653,2	66,36	46,85	0,851	5,804	78	3645,6	66,28	47,96	0,872	6,08	79
14. 8.	3115,7	56,64	45,7	0,830	6,648	68	3180,9	57,84	44,17	0,863	3,994	72
16. 8.	3169,2	57,62	56,05	1,01	6,66	69	3361,7	61,12	46,68	0,844	6,648	72
23. 8.	5567,5	101,2	92,79	1,68	3,454	60	5888,3	107,06	77,47	1,408	5,332	76
26. 9.	5387,1	97,9	88,31	1,60	4,016	61	4564,3	82,98	64,28	1,170	4,58	71
26. 9.	3194,4	56,71	55,67	1,01	6,084	58	4564,3	82,98	64,28	1,170	4,58	71
28. 9.	4806,6	87,39	69,66	1,26	4,768	69	5365,3	97,77	74,51	1,354	4,204	72
27. 9.	3151,3	57,3	53,46	0,972	6,272	59	4405,0	80,09	66,47	1,23	4,765	66
27. 9.	4117,6	74,8	73,39	1,344	4,58	56	4405,0	80,09	66,47	1,23	4,765	66
2. 10.	3163,0	57,5	44,54	0,80	6,084	71	4300,4	78,18	61,45	1,116	4,58	70
3. 10.	3683,0	66,84	54,96	0,99	4,768	67	3367,2	61,21	42,62	0,774	5,53	79
Mittel	3908,9	79,11	62,16	1,13	5,391	65	4295,27	77,01	58,4	1,059	5,301	72,6

Versuchsperson Sch., 69 kg. Totalsauerstoffcapacität = 19,4 Volumenprocent.

6. 10.	4725,5	68,48	61,65	0,893	6,014	76	5290,0	81,16	66,96	0,970	5,703	79
10. 10.	4974,8	63,4	53,35	0,773	5,238	82	5913,6	85,7	73,92	1,071	4,646	80
14. 10.	4462,0	64,66	57,20	0,828	6,592	78	5110,3	74,06	61,57	0,892	5,432	83
Mittel	4720,77	65,51	57,40	0,832	5,938	78	5437,96	80,3	67,29	0,997	5,260	80,6

300, resp. 3 ccm, alles Zahlen, die wohl innerhalb der Fehlergrenzen liegen. Bei der zweiten Versuchsreihe ist die Differenz etwa 700, resp. 10 ccm. Und zwar zeigen hier die Normalversuche im Durchschnitt höhere Werthe. Die Ursache ist sicherlich in der Uebung und in der Gewöhnung an die ganze Versuchsordnung zu suchen. Diese Factoren erklären mehr als genug die geringe Differenz zwischen den Minuten- und Schlagvolumina. Sehen wir die Einzelversuche an, so finden wir oft eine solche Uebereinstimmung zwischen Badversuch und Normalversuch, dass die Differenz oft nicht einmal 100 ccm beträgt. Auf Grund dieser Zahlen müssen wir zu dem Ergebniss kommen, dass im indifferenten Bade weder Minutenvolumen, noch Schlagvolumen eine wesentliche Aenderung erfahren. Hiermit stimmen wir mit den anderen Forschern überein. Die Temperatur von 34—35° C. ist nicht im Stande, das Minuten- und Schlagvolumen in deutlich erkennbarer Weise zu beeinflussen.

Bei den höher temperirten Bädern finden wir eine Erscheinung, die in sämmtlichen Versuchen mit grosser Regelmässigkeit wiederkehrt. Nämlich eine deutliche Verminderung des Schlagvolumens und eine erhöhte Pulsfrequenz. Es ist dabei gleichgültig, ob das Bad eine Temperatur von 43°, 40—39° oder nur 38—37° hat. Die Durchschnittszahlen in der ersten Versuchsreihe für das Schlagvolumen ist 50,60 ccm, für den Puls 106, während die dazugehörigen Normalversuche

Tabelle III.

Höher temperirte Bäder von 37—43°.

Versuchsperson Th., 55 kg. Totalsauerstoffcapacität = 18,8 Volumenprocent.

	Temperatur in Grad	Badversuch								Normalversuch					
		Minutenvolumen		Schlagvol.						Minutenvolumen		Schlagvol.			
		in ccm	pro kg Körpergew.	in ccm	pro kg Körpergew.	Absoluter O_2-Verlust	Abnahme des Schlagvolumens in pCt.	Zunahme des Pulses in pCt.	Puls	in ccm	pro kg Körpergew.	in ccm	pro kg Körpergew.	Absoluter O_2-Verlust	Puls
0.	37	5114,9	99,1	58,91	1,054	4,204	20,93	22,0	88	5365,3	97,77	74,51	1,354	4,204	72
0.	39—40	3650,7	66,37	38,83	0,706	5,52	35,0	34,2	94	4300,4	78,18	61,45	1,116	4,58	76
0.	39—40	3255,0	59,18	34,52	0,627	6,272	19,2	18,9	94	3367,2	61,21	42,62	0,774	5,53	79
0.	42—43	6837,5	124,31	51,8	0,941	3,74	32,2	83,3	132	5505,0	100,1	76,45	1,390	3,74	72
0.	42—43	8393,2	152,60	69,94	1,271	3,264	15,9	81,8	120	5569,6	101,25	84,38	1,543	4,016	66
	Mittel	5450,26	100,31	50,69	0,919	4,6	24,64	48,04	106	4821,5	87,70	67,48	1,235	4,414	72

Versuchsperson Sch., 69 kg. Totalsauerstoffcapacität = 19.4 Volumenprocent.

0.	40	6798,4	98,52	58,61	0,849	4,753	12,4	46,8	116	5290,0	80,16	66,96	0,970	5,703	79
0.	40	4776,0	61,97	38,1	0,552	6,596	27,95	36,6	112	4336,0	62,84	52,87	0,766	5,626	82
0.	38	4482,1	64,95	52,11	0,758	4,85	25,28	4,9	86	5718,9	82,78	69,74	1,011	4,85	82
0.	41	6213,9	90,05	53,56	0,776	5,235	22,7	41,4	116						
0.	40	5320,3	77,10	46,69	0,676	5,626	36,4	42,4	114	3913,6	85,70	73,92	1,071	4,646	80
0.	43	14241,0	206,39	105,48	1,528	2,91	9,1	90,0	135	8239,5	119,04	116,04	1,687	3,49	71
	Mittel	6971,95	99,83	59,09	0,856	4,995	22,2	43,7	113	5899,6	86,10	75,90	1,101	4,863	78

im Mittel ein Schlagvolumen von 67,48 und einen Puls von 72 aufweisen. Bei der zweiten Versuchsreihe findet sich im Durchschnitt bei den Badversuchen ein Schlagvolumen von 59,09 ccm und ein Puls von 113. Die Werthe der dazu gehörigen Normalversuche sind für das Schlagvolumen 75,90 ccm, für den Puls 78. Auf 100 berechnet, ergiebt die erste Versuchsreihe ein Sinken des Schlagvolumens im Durchschnitt um 24,64 pCt., die zweite um 22,2 pCt., der Puls dagegen ist bei Th. um 48,04 pCt., bei mir um 43,7 pCt. im Mittel in die Höhe gegangen.

Das Minutenvolumen hingegen zeigt ein verschiedenes Verhalten. Bei den Bädern von 38 -37° und 39 -40° ist es etwa ebenso gross wie im Normalversuch oder noch etwas kleiner. Nur beim Versuch vom 6. 10. ist das Minutenvolumen im Bade bedeutend grösser, trotzdem die Temperatur auch nur 39 -40° betrug. Die Ursachen hierfür sind äusserlicher Art; die Athmungsventile gingen schwer und bedingten dadurch eine erhöhte Arbeit. Bei einer Temperatur von 41° aufwärts zeigt das Minutenvolumen eine constante Steigerung gegenüber dem des Normalversuches. Erreicht auch die Zunahme bei 42—43° recht erhebliche Grade, so ist im Verhältniss die Pulszahl noch mehr gestiegen, das Schlagvolumen verkleinert sich trotz des gestiegenen Minutenvolumens.

Einer besonderen Erwähnung bedarf noch der Versuch vom 23. 9. der zweiten Serie. Wir finden hier schon im Normalversuch ein abnorm

hohes Minutenvolumen von 8232,5. Dieser hohe Werth erklärt sich aus der völlig ungewohnten Art und Weise, bei geschlossener Nase mittelst der Ventile athmen zu müssen. Es war einer der ersten Versuche, der an mir gemacht worden ist und der mit sichtlicher Anstrengung verbunden war. War dieser Normalwerth schon abnorm hoch, so ergab der nachfolgende Badeversuch bei einer Temperatur von 42—43° den ausserordentlich hohen Werth von 14241,0 ccm. Es ist klar, dass das Herz auf die Dauer solchen Anstrengungen nicht gewachsen sein kann. So erfolgte bald nach Verlassen des Bades ein schwerer Collaps. Die Körpertemperatur war noch 20 Minuten nach dem Bade, in der Achselhöhle gemessen, 38°.

Wir kommen bei den höher temperirten Bädern zu dem Schluss, dass das Schlagvolumen durchgehend verkleinert wird. Die Ursache ist in der gesteigerten Pulszahl zu suchen. Das Minutenvolumen ist von **37° bis etwa 40°** gegenüber dem des Normalversuches nur **wenig verändert.** Es kann kleiner, unter Umständen auch etwas grösser sein. Von **41°** ab erfährt das Minutenvolumen eine deutliche **Vermehrung**, doch wächst es lange nicht in dem Maasse als die Pulsfrequenz steigt, so dass trotz vermehrten Minutenvolumens ein vermindertes Schlagvolumen resultirt.

Tabelle IV.

Kaltes Bad.

Versuchsperson Th., 55 kg. Totalsauerstoffcapacität = 18,8 Volumenprocent.

	Temperatur in Grad	Badversuch								Normalversuch					
		Minutenvolumen		Schlagvol.		Absoluter O_2-Verlust	Puls	Zunahme des Schlagvolumens in p.Ct.	Zu- resp. Abnahme des Pulses in p.Ct.	Minutenvolumen		Schlagvol.		Absoluter O_2-Verlust	Puls
		in ccm	pro kg Körpergew.	in ccm	pro kg Körpergew.					in ccm	pro kg Körpergew.	in ccm	pro kg Körpergew.		
	22	9191,6	167,12	109,47	1,990	6,648	84	66,9	21,7	4526,0	82,29	65,59	1,192	4,456	69
	20	9207,4	167,4	127,90	2,335	6,084	72	35,6	5,88	6170.0	111,27	94,2	1,712	3,644	68
.	25	5936,4	107,9	70,66	1,284	6,272	84	12,3	7,69	4843,0	88,06	62,9	1,143	4,394	78
.	23	8083,5	146,9	91,74	1,668	7,563	88	61,9	12,8	4419,2	80,34	56,65	1,030	4,768	78
Mittel		8104,7	147,33	99,94	1,819	6,641	82	44,2	12,02	4989,55	90,49	69,83	1.269	4,315	73

Versuchsperson Sch., 69 kg. Totalsauerstoffcapacität = 18,8 Volumenprocent.

.	19	8753,0	126,95	121,56	1,761	7,954	72	177,0	12,1	3594,0	52,68	43,82	0,635	7,760	82
.	25	7107,5	103,90	101,53	1,471	9,118	70	97,7	21,9	4523,9	65,56	51,40	0,744	7,170	88
.	28	4857,79	70,40	67,97	0.985	7,76	72	32,2	19,0						
Mittel		6906,09	100,42	97,02	1,405	8,274	71	102,3	17,7	4058,9	59,12	47,61	0,689	7,465	85

Wie die Tabelle zeigt, ist im kalten Bade sowohl Minuten- als auch Schlagvolumen nicht unbeträchtlich vermehrt. Wir sehen bei dem Patienten Th. das Minutenvolumen von 4989,55 ccm im Normalversuch auf 8104,7 ccm im Badeversuch hinaufgehen. Bei mir steigt das Minutenvolumen von 4058,9 ccm auf 6906,09 ccm; das Schlagvolumen hat sich

in entsprechendem Maasse vermehrt. Legt man die Durchschnittszahlen zu Grunde, so finden wir in der ersten Versuchsreihe eine Vermehrung um 44,2 pCt., in der zweiten um 102,3 pCt. Nur eine ganz geringe Vermehrung des Minutenvolumens, eine etwas grössere des Schlagvolumens zeigt der Badversuch bei einer Temperatur von 28°. Wir empfinden bei 28° den Temperaturreiz noch nicht als den intensiven Kältereiz, der die beschleunigten und vertieften Inspirationen bedingt und Zitterbewegungen auslöst.

Gegensätzlich ist das Verhalten des Pulses in den beiden Versuchsreihen. Bei Th. erleidet der Puls im kalten Bade eine Zunahme bis im Mittel von 12,02 pCt, bei mir dagegen eine deutliche Abnahme bis 17,7 pCt. Nun haben die systematischen Untersuchungen Otfried Müller's gezeigt, dass im kalten Bade bei gesunden Individuen eine Verringerung der Pulszahl stattfindet. Dass die Umkehrung des Satzes nicht richtig sein kann, zeigt die alltägliche Erfahrung. Auch Gesunde können im kalten Bade (oder bei Muskelarbeit) eine Erhöhung der Pulsfrequenz aufweisen. Es kommt auch hierbei wieder die Möglichkeit einer verschiedenen Regulation bei erhöhtem O_2-Bedarf in den arbeitenden Geweben zur Geltung. Nur scheint es sich bei dem kalten Bade (und bei der Muskelarbeit) um individuell verschiedene Regulationen zu handeln. Das eine Individuum bringt die nothwendige grössere Sauerstoffmenge dadurch auf, dass die mit dem einzelnen Herzschlag geförderte Blutmenge wächst, das andere dadurch, dass zwar auch das Schlagvolumen gegenüber der Norm grösser wird, daneben aber auch noch die Schlagfolge vermehrt wird. Der zweckmässigere und für das Herz schonendere Modus scheint das ausschliessliche Arbeiten mit erhöhtem Schlagvolumen zu sein.

Im Ganzen ergeben unsere Versuche somit die Thatsache, dass im kalten Bad das Schlagvolumen wächst, im warmen und heissen Bad das Schlagvolumen kleiner wird.

Zur Sicherung dieser Resultate haben wir nun noch das Röntgenverfahren herbeigezogen, indem wir nach einem Normalversuch, heissem und kaltem Badversuch je eine Teleröntgenaufnahme des Herzens in 2 m Abstand vom Röhrenfocus machten. Schon der blosse Blick auf die Röntgenplatte zeigte, dass im heissen Bad das Herz etwas verkleinert, im kalten dagegen etwas vergrössert ist. Die genauen Maasse mögen hier folgen.

Th. Normal . . .	ML = 7,6 cm	Länge = 12	cm
	MR = 2,5 „	OQ = 4,5	„
	ML + MR = 10,1 „	UQ = 4,5	„
Nach dem heissen Bade	ML = 7,5 „	Länge = 11,13	„
	MR = 1,9 „	OQ = 4,3	„
	ML + MR = 9,4 „	UQ = 5,2	„
Nach dem kalten Bade	ML = 8,4 „	Länge = 12,5	„
	MR = 2,5 „	OQ = 5,0	„
	ML + MR = 10,9 „	UQ = 5,2	„

Sch. Normal . . .	ML =	7,7 cm	Länge =	13,7 cm
	MR =	4,5 „	OQ =	6,0 „
	ML + MR =	12,2 „	UQ =	5,5 „
Nach dem heissen Bade	ML =	7,2 „	Länge =	13,5 „
	MR =	4,4 „	OQ =	5,8 „
	ML + MR =	11,6 „	UQ =	5,9 „
Nach dem kalten Bade	ML =	7,5 „	Länge =	14,0 „
	MR =	5,0 „	OQ =	6,0 „
	ML + MR =	12,5 „	UQ =	5,8 „

Nach dem Vorgange von Pütter (7) lässt sich der Voluminhalt des Herzens mittels der Formel für ein dreiaxiges Ellipsoid berechnen.

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot a \cdot b \cdot c.$$

a ist die halbe Länge $= \frac{L}{2}$,

b „ „ „ Breite $= \frac{Br}{2}$,

c „ „ „ Dicke $= 0{,}72 \cdot \frac{Br}{2} = 0{,}36\ Br.$

Das Volumen des ganzen Herzens ist also $V = \pi \frac{4}{6} L \cdot 0{,}78\ Br.$

Da sich nach Dietlen die Flächen der orthographischen Herzfiguren nahezu wie die Quadrate der Herzlängen verhalten, vereinfacht sich die Formel für das Herzvolumen $V = \frac{4}{6} \cdot \pi \cdot 0{,}18 \cdot 0{,}64 \cdot L^3 = 0{,}24\, L^3$.

Wir finden mit Hilfe dieser Formeln beim Patienten

Th. nach dem Normalversuch ein Herzvolumen von	414,7	ccm
nach dem heissen Bade „ „ „	330,9	„
nach dem kalten „ „ „ „	468,8	„
Sch. nach dem Normalversuch „ „ „	617,1	„
nach dem heissen Bade „ „ „	590,5	„
nach dem kalten „ „ „ „	658,6	„

Bei Th. hätte es sich hiernach nach dem heissen Bade um 83,8 ccm vermindert, nach dem kalten um 54,1 ccm vergrössert. Bei mir beträgt die Verminderung 26,6 ccm, die Vergrösserung 41,5 ccm.

Gegen diese Methode der Bestimmung des Herzvolumens können allerlei Einwände erhoben werden. Erstens, dass die Herzaufnahme erst nach dem Bade erfolgte, sodass die Aufnahme kein getreues Bild vom Tiefstand des Herzens während des Bades sei. Wir sind auch der Ueberzeugung, dass die wenigen Sekunden zwischen Bad und Röntgenaufnahme völlig hinreichen, um das Herzvolumen nach irgend einer Richtung zu ändern. Nun wird aber das Herz nach Verlassen des Bades wohl das Bestreben haben, zu den normalen Verhältnissen zurückzukehren. Finden wir trotzdem nach einem heissen Bade eine Verkleinerung, nach einem kalten eine Vergrösserung seines Volumens, so geht unseres Er-

achtens mit zwingender Nothwendigkeit daraus hervor, dass während des Bades die Veränderung des Herzvolumens, sei es im Sinne der Verkleinerung oder der Vergrösserung, thatsächlich stattgefunden hat. Und zwar in noch höherem Maasse, als wir es zahlenmässig feststellen können. Ferner lässt sich einwenden, die Verkleinerung des Herzvolumens nach dem heissen Bade sei durch eine vollkommenere Entleerung der Ventrikel bedingt. Dazu ist erstens der Unterschied zwischen den Herzvolumina zu gross, dann entleert sich der Ventrikel niemals vollkommen, drittens ist die Entleerung um so unvollkommener, je schneller die Herzaction ist, die im heissen Bade bekanntlich sehr beschleunigt ist. Schliesslich kann der Einwand erhoben werden, die Aufnahmen stammten aus verschiedenen Herzphasen, die Maasse könnten nicht mit einander verglichen werden. Abgesehen davon, dass bereits Dietlen mittelst des Orthogrammes nach heissen Bädern eine Verkleinerung, nach kalten eine Vergrösserung der Herzsilhouette festgestellt hat, ist nicht einzusehen, warum beim Normalversuch das Herz in der Diastole, beim heissen Bade in der Systole aufgenommen wäre. Die Aufnahme ist sicher in der sogenannten Mittelstellung erfolgt. Wir können mithin behaupten, dass die Röntgenaufnahme uns eine wichtige Stütze für das Ergebniss unserer Versuche gewährt, wonach im heissen Bade eine Verkleinerung, im kalten Bade eine Vergrösserung des Herzschlagvolumens stattfindet.

Respiratorischer Stoffwechsel.

Durch die mittelst der Plesch'schen Methode gewonnenen Daten und Zahlen erhalten wir nicht nur einen Aufschluss über das Verhalten des Minuten- und Schlagvolumens unter dem Einfluss hydriatischer Proceduren, sondern sie gewähren uns auch einen Einblick in die Veränderungen des respiratorischen Gaswechsels, die beim Einwirken extremer Temperaturen sehr bedeutend sein können. Dass beim indifferenten Bad keine wesentliche Aenderung des Stoffwechsels stattfindet, darin stimmen ältere wie neuere Untersucher vollkommen überein. Die Dauer des Bades ist dabei völlig ohne Bedeutung. Auch unsere Versuche lassen keine nennenswerthe Aenderung des Gaswechsels gegenüber den Normalversuchen erkennen. Anders steht es mit den warmen Bädern (siehe umstehende Tabelle V).

Wir sehen, dass bei den Bädern von 39—40° der O_2-Verbrauch nur wenig grösser geworden ist, im niedrigsten Falle beträgt der Mehrverbrauch nur 2,3 pCt., im höchsten Falle 15 pCt. Diese geringe Vermehrung ist sicher nur auf die angestrengtere Athemmechanik zu setzen, ohne dass im Körper lebhaftere Oxydationen stattfänden. Bei dem Badversuch von 41° ist der O-Mehrverbrauch schon bis zu 17 pCt. gestiegen. Die Bäder von 42—43° zeigen ein Plus von 22,5 pCt. bis zu 46,5 pCt. Müssen wir davon auch einen gewissen Procentsatz für erhöhte Athemthätigkeit abziehen, so bleibt doch noch ein ansehnlicher Rest, der nur durch stärkere Verbrennungsprocesse im Körper seine Erklärung findet. Zuerst hat H. Winternitz den Einfluss heisser Bäder auf den respiratorischen Stoffwechsel mittels des Zuntz-Geppert'schen Apparates untersucht. Er fand eine Steigerung des O-Verbrauchs von 33 bis 57 pCt.,

Tabelle V.

Warmes Bad.

Versuchsperson Th.

atum	Temperatur	Badversuche: Athemgrösse in ccm pro Minute	Badversuche: O_2-Verbrauch in pCt.	Badversuche: CO_2-Verbrauch in pCt.	Badversuche: O_2-Verbrauch in ccm pro Minute	Badversuche: CO_2-Verbrauch in ccm pro Min.	Badversuche: Resp. Quotient	Badversuche: Zuwachs des O_2-Verbrauchs pro Minute	Badversuche: Zuwachs des O_2-Verbrauchs in pCt.	Normalversuch: Athemgrösse	Normalversuch: O_2-Verbrauch in pCt.	Normalversuch: CO_2-Verbrauch in pCt.	Normalversuch: O_2-Verbrauch in ccm pro Min.	Normalversuch: CO_2-Verbrauch in ccm pro Min.	Normalversuch: Resp. Quotient
2. 10.	39	6130	3,682	2,90	201,51	158,97	0,787	4,61	2,3	6300	3,472	2,83	196,90	160,04	—
3. 10.	39—40	5625	4,022	3,13	204,15	158,80	0,778	18,20	9,7	5200	3,962	2,87	186,20	134,92	0,7246
0. 9.	42	9090	2,892	3,18	256,90	282,48	1,099	51,02	24,6	6500	3,522	2,82	205,88	164,38	0,7980
2. 9.	42	9812	2.792	3,01	273,96	295,35	1,088	50,21	22,5	5545	3,942	3,15	223,67	174,67	0,7809
		Versuchsperson Sch.													
5 10.	39—40	7800	4,592	3,47	323,30	244,30	0,756	21.20	7,0	6900	4,871	3,84	302,20	241.15	0,798
9. 10.	40	6089	4,632	3,14	282,00	191.20	0,747	37.50	15,0	5512	4,862	3,64	244,50	183,05	0,748
0. 10.	40	6784	4,412	3,41	299,31	231.30	0,773	25,00	9,1	5235	5,622	3,94	274,74	192,55	0,7009
1. 10.	41	7080	5,142	3,94	325,48	246,00	0,758	49.00	17,0	6500	4,732	3,95	276,72	231,00	0,8340
3. 9.	43	9143	4,532	3,96	414.37	362,07	0,873	133,10	46,5	6630	4,330	3,05	287,27	202,91	0,7039

ebenso war die CO_2-Bildung deutlich vermehrt und der respiratorische Quotient erfuhr eine erhebliche Zunahme. Die Temperatur der von Winternitz benutzten Bäder schwankte zwischen 41° und 39°. Die Versuche dehnten sich bis zu einer Stunde aus. Dieser Umstand bedingt es hauptsächlich, dass Winternitz höhere Werthe als wir gefunden hat. Denn die lange Dauer des Versuches gestattete eine starke Durchwärmung des Körpers, als bei unseren Versuchen von 15—20 Minuten Dauer möglich war. Das heisse Wasserbad hebt die physikalische Wärmeregulation auf. Die Wärme kann nicht nach aussen abgegeben werden. Die Wärmebildung aber wird wiederum nicht unter das zur Erhaltung des Lebens nothwendige Maass eingeschränkt. Die Folge ist eine starke Durchwärmung des Körpers, eine Wärmestauung, die ihrerseits die Körpertemperatur ansteigen lässt; die Erhöhung der Körpertemperatur bedingt aber wieder eine Steigerung der Zersetzungen, daher der vermehrte O_2-Bedarf im heissen Bade, trotz vollkommener Körperruhe. Dass erhöhte Körpertemperatur die Oxydationen vermehrt, hat schon vor Jahren Pflüger gezeigt. Für den Menschen haben es die Untersuchungen von H. Winternitz u. a. bestätigt.

Der respiratorische Quotient hat sich bei den Badversuchen bis zu 40° nicht wesentlich verändert. Dagegen ist er bei den Versuchen vom 20. und 21. 9. sogar grösser als 1. Der Grund ist nicht in einer vermehrten CO_2-Production, sondern in der durch das heisse Bad bewirkten besseren Ventilation der Lunge zu suchen. Hätten die Versuche länger angedauert, so wäre der respiratorische Quotient kleiner geworden, wie wir es beim Versuch vom 23. 9. sehen, wo er 0,873 beträgt, obwohl das Bad dieselbe Temperatur von 42° hatte. Die Gefahr des Collapses liess eine längere Dauer der Versuche nicht zu.

Tabelle VI.

Kaltes Bad.

Versuchsperson Th. 55 kg.

Datum	Temperatur	Badversuch: Athemgrösse in ccm pro Minute	Badversuch: O_2-Verbrauch in pCt.	Badversuch: CO_2-Production in pCt.	Badversuch: O_2-Verbrauch in ccm pro Minute	Badversuch: CO_2-Production in ccm pro Min.	Badversuch: Resp. Quotient	Badversuch: Zuwachs d. CO_2-Verbrauchs pro Minute im ccm	Badversuch: Zuwachs d. O_2-Verbrauchs in pCt.	Normalversuch: Athemgrösse in ccm pro Minute	Normalversuch: O_2-Verbrauch in pCt.	Normalversuch: CO_2-Production in pCt.	Normalversuch: O_2-Verbrauch in ccm pro Minute	Normalversuch: CO_2-Production in ccm pro Min.
21. 9.	25	12 440	4,921	4,09	611,06	508,80	0,832	396,76	176	6700	3,772	3,100	224,30	184,45
25. 9.	20	14 000	4,412	3,83	560,20	487,20	0,869	337,94	150	6390	3,492	2,950	223,14	188,50
21. 11.	25	8 270	4,502	3,76	372,33	310,96	0,835	159,53	75	5150	3,130	4,132	212,80	161,20
21. 11.	23	12 600	4,852	4,30	611,35	541,80	0,886	400,54	190	5470	3,852	3,280	210,71	179,40
		Versuchsperson Sch., 69 kg.												
12. 10.	17	13 500	5,642	4,87	696,23	600,97	0,863	418,47	150	6860	4,452	3,490	278,70	218,47
3. 11.	28	9 270	4,422	4,02	376,97	342,70	0,909	32,20	16	7600	4,619	3,680	324,72	258,70
3. 11.	25	12 660	5,582	4,92	648,07	571,20	0,881	272,00	72					

Bedeutend gewaltiger als im heissen Bade ist der O_2-Mehrverbrauch im kalten Bade unter 25°. In unseren Versuchen ist er von 72 pCt. im Minimum bis zu 109 pCt. gestiegen, die Kohlensäureproduction ist im gleichen Maasse gewachsen, der respiratorische Quotient zeigt eine geringe Verschiebung nach oben. Fragen wir nach den Ursachen des grossen Mehrbedarfs von O_2, so können sie nur in dem grossen Wärmeverlust liegen, den der Körper im kalten Bade erleidet. Da die physikalische Wärmeregulirung nicht ausreicht, setzt eine stärkere Wärmeproduction ein. Der Mensch regulirt chemisch. Ob der Kältereiz für sich allein schon die chemische Wärmeregulation veranlasst, wie es Rubner annimmt, oder ob das starke Muskelzittern erst die Veranlassung der vermehrten Wärmeproduction ist, ist eine Frage, die hier nicht entschieden werden kann. Doch erscheint es uns nach dem Verhalten der Versuchspersonen, die durchaus nicht besonders stark und nicht dauernd Kältezittern hatten, wahrscheinlich, dass das Muskelzittern allein nicht die Ursache der mächtig gesteigerten Wärmeproduction sein kann.

Hieran anschliessend möge eine tabellarische Uebersicht aller an einem heissen und kalten Bade mit den dazu gehörigen Normalversuchen gewonnenen Zahlen und Daten folgen, um zu sehen, inwiefern die Wirkung auf den Körper eine gleichartige oder entgegengesetzte ist.

Tabelle VII.

Respiratorischer Gaswechsel.

	Normal-versuch	Heisses Bad	Normal-versuch	Kaltes Bad
Athemvolumen pro Minute	5545 ccm	9812 ccm	5950 ccm	12440 ccm
CO_2-Production pro Minute	174,67 „	295,35 „	184,45 „	508,8 „
CO_2-Production pro Min. u. kg-Körpergew.	3,17 „	5,37 „	3,35 „	9,23 „
O_2-Verbrauch pro Minute	223,67 „	273,96 „	234,3 „	611,06 „
O_2-Verbrauch pro Min. und kg-Körpergew.	4,06 „	4,98 „	4,07 „	11,11 „
Respirat. Quotient.	0,7809	1,088	0,8223	0,8326
O_2 in der Ausathmungsluft	16,98 pCt.	18,13 pCt.	17,15 pCt.	16,01 pCt

Beiden Bädern gemeinsam ist eine bedeutende Vermehrung des Athemvolumens, dem kalten noch mehr als dem heissen. Beträgt die Steigerung beim ersten doch über 100 pCt.; vermehrt ist sowohl beim heissen als auch beim kalten Bade der O_2-Verbrauch und die CO_2-Production. Allerdings in verschieden hohem Maasse. Der Mehrverbrauch von O_2 im heissen Bade beträgt 22,5 pCt., im kalten 176 pCt. Auch das Verhältniss zwischen O_2-Verbrauch und CO_2-Production hat sich in beiden Badversuchen zu Gunsten der CO_2-Production verschoben, so dass der respiratorische Quotient gestiegen ist. Der hohe respiratorische Quotient von 1,08 an ist bereits oben gewürdigt worden. Einen Unterschied zeigt die Exspirationsluft in ihrem Gehalt an O_2. Im heissen Bade ist sie um 1,15 pCt. reicher an O_2 gegenüber der des Normalversuches. Im kalten Bade um 1,14 pCt. ärmer an O_2 gegenüber der des Normalversuches. Wird im kalten Bade schon absolut eine grössere Luftmenge inspirirt, so wird sie obendrein noch intensiver ausgenutzt. Im heissen Bade ist die absolute Luftmenge nicht nur geringer, sondern sie verlässt auch O_2-reicher den Körper. Die Ausnutzung des O ist schlechter als in der Norm.

Tabelle VIII.

Circulationssystem.

	Normal-versuch	Heisses Bad	Normal-versuch	Kaltes Bad
Alveoläre O_2-Spannung in mm-Hg	104,84	124,2	108,45	106,7
O_2-Capacität des Blutes in Vol.-pCt.	18,8	18,3	18,8	18,8
O_2-Gehalt des arteriellen Blutes in Vol.-pCt.	18,304	18,304	18,304	18,304
O_2-Spannung des venösen Blutes in mm-Hg	45,68	48,737	39,46	37,22
CO_2-Spannung des venösen Blutes in mm-Hg	33,76	36,16	34,58	34,46
O_2-Gehalt d. venösen Blutes in pCt. d. O_2-Capacität	76	50	71	62
O_2-Gehalt des venösen Blutes in Vol.-pCt.	14,288	15,04	13,348	11,656
O_2-Verbrauch des Körpers pro Minute	223,67	273,9	224,3	611,6
Blut-Minutenvolumen in ccm	5569,6	8393,2	4526,0	9191,6
Desgl. pro kg Körpergewicht	101,2	152,6	82,2	167,1
Herzschlagvolumen in ccm	84,38	69,94	65,59	109,47
Desgl. pro kg Körpergewicht	1,52	1,27	1,19	1,99
O_2-Verlust pro 100 ccm Blut	4,016	3,264	4,596	6,648

Sowohl das heisse als auch das kalte Bad zeigen ein erheblich vergrössertes Minutenvolumen, das Schlagvolumen bewegt sich aber in entgegengesetzter Richtung, es ist im heissen Bade deutlich vermindert, im kalten bedeutend gestiegen. Von besonderem Interesse ist bei den beiden Bädern die O_2-Ausnützung des Blutes. Der O_2-Gehalt des venösen Blutes im heissen Bade ist grösser als beim zugehörigen Normalversuch, er beträgt 15,04 Volumenprocent zu 14,28 in der Norm; die Ausnützung beträgt nur 18 pCt. zu 22 pCt. des venösen Blutes im Normalversuch. Das kalte Bad dagegen zeigt eine Vermehrung der Sauerstoffausnützung; das venöse Blut enthält nur 11,656 Volumprocent O_2 zu 13,348 Volumenprocent im Venenblute des Normalversuchs. Der O_2-Verlust ist bei ihm 36 pCt. zu 27 pCt. im Normalversuch.

Diese Zahlen erlauben uns einen tieferen Einblick in die Vorgänge im Körper unter dem Einfluss der verschiedenen Temperaturwirkungen. Gleichlaufend mit dem mächtig erhöhten O_2-Verbrauch im kalten Bade ist der Verlust an O_2 in der Circulation, also die Ausnützung des O_2 in den Capillaren eine grössere; die chemischen Processe in den Geweben sind intensiver, die Wärmebildung im Körper eine grössere. Im Gegensatz hierzu steht das Verhalten während des heissen Bades. Das Venenblut kehrt reicher an O_2 in die Lungen zurück, der Verlust in den Capillaren ist ein geringerer. Dementsprechend sind die Oxydationen nicht in dem Maasse gesteigert als im kalten Bade.

Die durch die Athmung mehr aufgenommene O_2-Menge fällt bei den Temperaturen bis 41° ausschliesslich oder fast ausschliesslich auf die Athmung und Herzthätigkeit. Erst bei höheren Temperaturen ist der O_2-Verbrauch in der Athmung vielleicht höher als es der Athem- und der Herzarbeit entspricht. Der Gedanke drängt sich ohne weiteres auf, dass die vermehrte Athem- und Herzarbeit im heissen Bad nur dem Ausgleich der Wärme dient, deren Abgabe durch die Haut verhindert ist. Wir haben hier einen Zustand vor uns, der dem „Hacheln" der Hunde entspricht, das die Unfähigkeit der Wasserabgabe durch die Haut bei Hitze und Muskelarbeit compensirt. Aus diesen Beobachtungen geht aber auch mit Deutlichkeit hervor, dass es sich bei den Wirkungen temperirter Bäder allein um Störungen des Wärmegleichgewichtes handelt und um Reactionen, die im kalten Bade chemischer, im heissen physikalischer Natur sind. In dem einen Falle (kaltes Bad) vermehrte Wärmebildung und nur secundäre Erhöhung der Herzarbeit zur Beschaffung des notwendigen O_2. Im zweiten Falle (heisses Bad) eine primäre Erhöhung der Athem- und Herzarbeit zur Erzielung einer vermehrten Wärmeabgabe durch die Lungenluft. Mit Sicherheit lässt sich ausschliessen, dass die Aenderung der Circulationsgrössen nur durch rein locale, auf die Blutgefässe der Haut wirkende Einflüsse im Sinne einer Vaso-Constriction bezw. Dilatation, die ihrerseits Blutdruckänderungen und dadurch Veränderungen der Herzarbeit nach sich ziehen, bedingt seien.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind kurz folgende:

1. Die Methode von Plesch ist theoretisch richtig und unter gewissen Voraussetzungen auch practisch verwerthbar. Diese Voraussetzungen sind Gewöhnung an die Ventilathmung, Vergleich nur zeitlich auf einander folgender Versuche, nicht unter 10 und nicht über 20 Secunden dauernde Sackathmung.
2. Das Herzschlagvolumen, das Minutenvolumen, die O_2-Ausnützung im Venenblute wechselt bei den gleichen Individuen an verschiedenen Tagen innerhalb breiter Grenzen.
3. Das indifferente Bad ist ohne Einfluss auf Herzarbeit, Minuten- und Schlagvolumen und Puls.
4. Das heisse Bad geht mit einer Verminderung des Schlagvolumens, geringer Vermehrung des Minutenvolumens und Steigerung der Pulsfrequenz einher.

5. Das kalte Bad geht mit einer Vermehrung des Minuten- und Schlagvolumens, mit einer Verminderung oder mässigen Beschleunigung der Pulsfrequenz einher.
6. Die chemischen Processe sind im kalten Bade mächtig gesteigert und bilden die Ursache für die Veränderung der Blutcirculation.
7. Die chemischen Processe sind im heissen Bade bis 41° nur so weit gesteigert als die Athmung und Herzarbeit vermehrte Ansprüche an die Oxydation stellen. Letztere sind primär und dienen der Möglichkeit, durch erhöhte Lungenventilation Wärme abzugeben. Bei Bädern über 41° sind die Mehrzersetzungen ausserdem durch die gesteigerte Körpertemperatur bedingt.

Literatur.

1. Otfried Müller, Beiträge zur Kreislaufphysiologie des Menschen, besonders zur Lehre von der Blutvertheilung. Samml. klin. Vortr. Innere Medicin. No. 194—196.
2. Plesch, Hämodynamische Studien. Zeitschr. f. exper. Pathol. u. Ther. Bd. 4.
3. Bornstein, Ueber das Herzschlagvolumen, besonders im kalten und warmen Bade. Ebenda. Bd. 9. 1911.
4. v. Kries, Ueber die Methoden zur Beobachtung der arteriellen Blutströmung beim Menschen. Ebenda. Bd. 9. S. 453.
5. Christen, Tachographie, Pulsvolumen und Schlagvolumen. Ebenda. Bd. 9. S. 607.
6. Loewy u. v. Schrötter, Untersuchungen über die Blutcirculation des Menschen. Ebenda. Bd. 1. S. 197.
7. Christian Bohr, Blutgase und respiratorischer Stoffwechsel in Nagel's Handbuch der Physiologie. Bd. 1. 1909.
8. Pütter, Der intrapulmonale Sauerstoffverbrauch des Menschen. Zeitschr. f. klin. Med. Bd. 73. 3. u. 4. Heft. 1911.
9. Markoff, F. Müller u. N. Zuntz, Eine Stickstoffoxydulmethode zur Bestimmung der umlaufenden Blutmenge im lebenden Körper. Zeitschr. f. Balneol. No. 14/15. 1911.
10 u. 11. Mohr, Ueber regulirende und compensirende Vorgänge im Stoffwechsel der Anämischen. Zeitschr. f. exper. Pathol. u. Therap. Bd. 2. S. 435, C. Oppenheimer's Handbuch der Biochemie. Bd. 4.
12. Morawitz u. Röhmer, Ueber die Sauerstoffversorgung bei Anämien. Deutsch. Arch. f. klin. Med. Bd. 94.
13. H. Winternitz, Ueber die Wirkung verschiedener Bäder etc. Ebenda. Bd. 72.

Lebenslauf.

Ich, Fritz Schapals, bin geboren am 28. Februar 1883 zu Kaukehnellen (Ostpr.), zur Zeit wohnhaft in Coblenz a. Rh. Ich besuchte die höhere Privatknabenschule zu Kaukehmen, widmete mich zuerst dem kaufmännischen Beruf, gab ihn bald auf und bestand Michaelis 1905 das Abiturientenexamen am Gymnasium zum grauen Kloster in Berlin. Die ersten 7 Semester von Michaelis 1905 bis Michaelis 1908 studierte ich in Berlin, von Michaelis 1908 bis Ostern 1909 in München, von Ostern 1909 bis Michaelis 1910 wieder in Berlin. Die ärztliche Vorprüfung bestand ich Anfang Mai 1908 in Berlin, ebendaselbst die ärztliche Staatsprüfung am 21. Dezember 1910. Die ärztliche Approbation erhielt ich am 2. Januar 1912 mit der Gültigkeit vom 1. Januar 1912. Das Colloquium bestand ich am 15. Dezember 1911 in Halle a. S.